

УДК 621.9-06

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ СХЕМИ ВЕРСТАТА
КОМБІНОВАНОЇ СТРУКТУРИ**Кириченко А. М., Гречка А. І., Аль-Ібрахімі Метак М. А.
Кіровоградський національний технічний університет

Використання комбінованих механізмів паралельної структури у верстатобудуванні відбувається за двома напрямками [1]. Перший з них передбачає поєднання в одному механізмі штанг як постійної, так і змінної довжин. Другий напрям передбачає використання комбінації механізмів для надання руху подачі як інструменту, так і заготовці. Розгляду аспектів реалізації та отримуваних переваг саме другого напрямку присвячена дана доповідь.

Одним з головних недоліків обладнання, побудованого на основі паралельних структур, є вкрай низький коефіцієнт використання робочого простору [2]. У верстатах з традиційними послідовними кінематичними зв'язками всі лінійні переміщення вихідних органів приводу подач пропорційно переносяться на об'єм робочого простору. У механізмах паралельної структури ситуація набагато складніша. Кожна штанга такого механізму повинна забезпечити переміщення робочого органу по всім можливим координатам, при цьому уникнувши особливих положень. Розглянемо для прикладу робочий об'єм у вигляді куба з ребром довжиною h . Саме в такому випадку відношення об'єму робочого простору на добуток переміщень трьох повзунів або змін довжин трьох штанг, в залежності від типу ланки, буде мінімальним, що дозволяє теоретично оцінити ефективність механізму з точки зору коефіцієнта використання робочого простору. Теоретично для традиційних верстатів він становить одиницю, оскільки кожна виконавча ланка приводу подач переміщуватиметься на ту ж величину h . Для випадку переміщень трьох повзунів штанг постійної довжини, що показано на рис. 1 (зображено для прикладу один повзун), мінімальна довжина штанги повинна становити $1,414h$, а переміщення кожного повзуна повинно бути $2,414h$. Коефіцієнт використання робочого простору становитиме $1/2,414^3 = 0,071$.

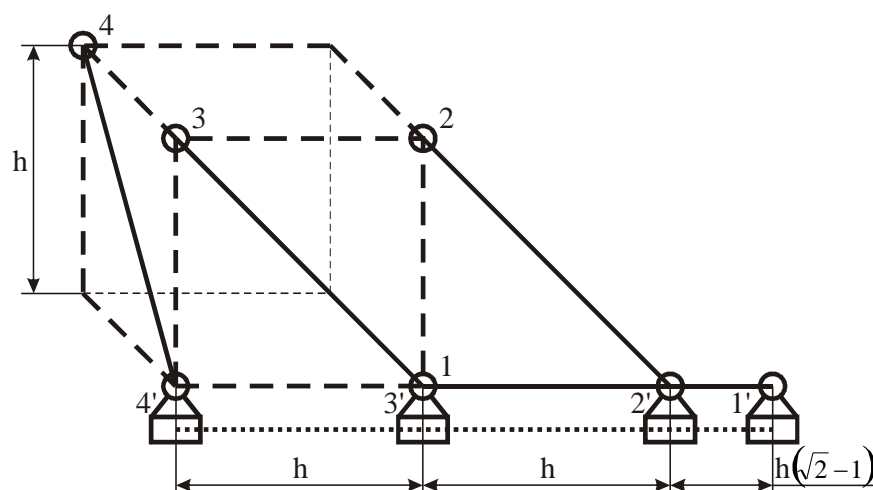


Рисунок 1 – Визначення переміщення повзуна штанги постійної довжини

У випадку механізму зі змінною довжини штанги, якщо представити теоретично, що штанга може вироджуватися і суміщатися з вершиною куба робочого простору (див. рис. 2), то зміна її довжини становитиме максимально величину головної діагоналі куба, тобто $1,732h$. Коефіцієнт використання робочого простору становитиме $1/1,732^3 = 0,192$. Показані розрахунки свідчать про неефективне співвідношення між габаритами робочого

простору та переміщеннями приводних ланок штанг, покликаних забезпечити створення такого робочого простору у механізмах з паралельними кінематичними структурами, особливо у випадку штанг постійної довжини. Звичайно, що форма робочого простору зазначених механізмів відрізняється від куба, і її фактичний об'єм буде більшим, а отже і зросте коефіцієнт використання робочого простору, проте все рівно він буде значно меншим від такого для верстатів з традиційними послідовними кінематичними зв'язками.

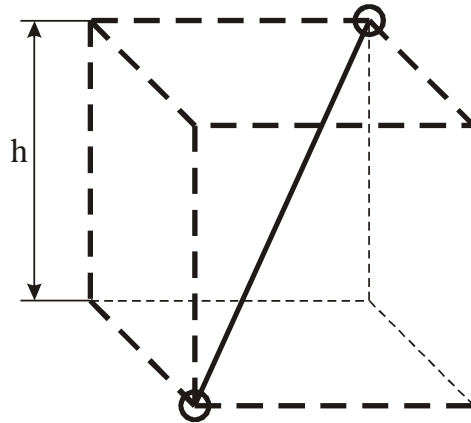


Рисунок 2 – Визначення зміни довжини штанги

Наявність кутових переміщень ускладнює картину. Робочий простір у верстатах з традиційними послідовними кінематичними зв'язками буде зменшуватися за рахунок відстані між вершиною інструмента та віссю обертання вихідної ланки. У механізмах паралельної структури всі переміщення повинні забезпечуватися за рахунок переміщення повзунів штанг або зміни їх довжини. Таким чином постає питання, що ж розглядати у якості об'єму робочого простору. Щодо верстатів з традиційною кінематикою, то під робочим простором розуміється просторова сукупність всіх можливих положень інструмента. У механізмах паралельної структури виділяють декілька зон можливого розташування інструмента [1]. Для коректного порівняння даних характеристик між верстатами з традиційною кінематикою та з паралельною кінематикою очевидно, щодо останніх необхідно використовувати робочий простір (а відповідно і його розміри) з повною заданою рухомістю вихідного органу. Для таких верстатів це складна задача, оскільки робочий простір повинен вмістити і сам робочий орган з інструментом, і заготовку. За розрахованих значень коефіцієнта використання робочого простору навіть незначне зростання об'єму робочого простору призводитиме до помітного збільшення габаритів верстата в цілому. Звичайно, можна піти екстенсивним шляхом і збільшити довжину штанги. В такому випадку коефіцієнт використання робочого простору виросте, однак зростуть і габарити верстата.

Часткове вирішення цієї задачі можна знайти у використанні комбінації механізмів для надання руху подачі як інструменту, так і заготовці. Практично будь-який вузол, що надає один елементарний рух (як лінійний, так і кутовий), можна розглядати як механізм паралельної структури з переміщенням по одній координаті. Таке порівняння коректне, оскільки той же повзун у механізмах зі штангами постійної довжини є саме таким вузлом. Припустимо, що проблема неефективності забезпечення необхідних розмірів робочого простору верстатів з паралельними кінематичними структурами з повною заданою рухомістю вихідного органу приводу подачі напряму залежить від кількості штанг, що приводять його у рух. Відомо, що для забезпечення переміщень по n координатам у механізмі паралельної структури повинно бути як мінімум стільки ж рухомих штанг. Якщо ж зменшити кількість штанг, то задача забезпечення необхідних розмірів робочого простору для верстатів з паралельними кінематичними структурами спроститься.

Відсутні при цьому координати переміщення інструменту пропонується надати заготовці. Розглянемо випадок шестикоординатного механізму паралельної структури, з якого будемо виключати ту чи іншу координату переміщення інструменту та надавати її заготовці. Довільно обираємо початкове положення інструменту вертикально зверху над закріпленою на столі з горизонтальною площиною заготовкою. У випадку нерухомої заготовки інструмент повинен мати доступ до всіх поверхонь заготовки, окрім площини кріплення. Відтак його лінійні переміщення по трьом координатам повинні перекривати розміри заготовки, а повороти навколо осей X та Y відносно початкового положення інструменту повинні становити 180° з підходами до відповідних площин обробки. У випадку використання обертового осьового інструменту для обробки різанням поворот робочого органу навколо осі інструмента є скоріше «певним доповненням», аніж технологічною необхідністю, однак це питання виходить за рамки даної доповіді.

Розглянемо чотири рухи, які можна надати вихідному органу, на якому закріплена заготовка. Це поворот навколо осі інструмента та перпендикулярної до неї осі, прямолінійні рухи вздовж даних осей. Відсутні у розгляді два рухи кінематично подібні випадку прямолінійного переміщення та повороту навколо перпендикулярної до осі інструмента осі.

Перший випадок – заготовка може обертатися навколо осі прийнятого початкового положення інструменту (рис. 3, а). Це призводить до суттєвого скорочення можливої кутової орієнтації інструмента навколо заданої точки робочого простору. Так, у випадку нерухомої заготовки інструмент повинен знаходитись у напівсфері навколо даної точки. У випадку обертання заготовки, що розглядається, інструмент повинен знаходитись лише у $1/8$ сфери навколо заданої точки робочого простору. Інші поверхні заготовки, необхідні для обробки, будуть надані у зону обробки шляхом повороту.

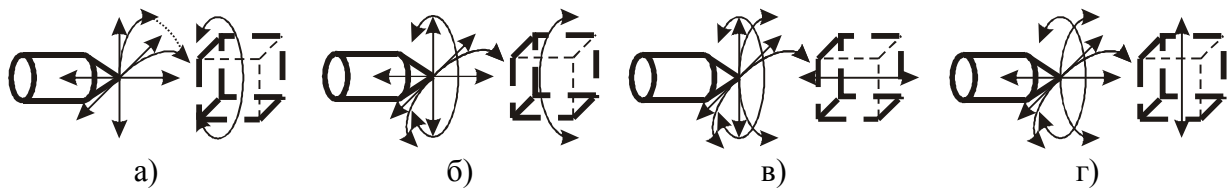


Рисунок 3 – Схема напрямків руху інструмента у верстаті з комбінованими механізмами паралельної структури

Другий випадок – заготовка може обертатися навколо осі, перпендикулярної до прийнятого початкового положення інструменту (рис. 3, б). Це також призводить до скорочення можливої кутової орієнтації інструмента навколо заданої точки робочого простору, однак удвічі меншої від попереднього випадку.

Третій випадок – заготовка здійснює рух подачі вздовж осі прийнятого початкового положення інструменту (рис. 3, в). В такому випадку лінійні переміщення інструменту можуть відбуватися лише у площині, але оскільки за поставленими умовами необхідно забезпечувати поворот навколо осей системи координат, переміщення всіх шарнірів робочого органу по одній чи рівнобіжним площинам не відбувається, і спрощення кінематики руху мінімальне. Вагомим зиском залишається обробка високих заготовок.

Четвертий випадок – заготовка здійснює рух подачі вздовж осі, перпендикулярної до прийнятого початкового положення інструменту (рис. 3, г). Цей випадок подібний до попереднього, з певною відмінністю у кінематиці. Ефект полягає у можливості обробки довгих заготовок.

Отже, проведений аналіз зміни умов роботи шестикоординатного верстата з комбінованим механізмом паралельної структури при наданні заготовці переміщення вздовж однієї з координат при відповідному вилученні такого руху у робочого органу з інструментом показує, що найбільш доцільною з точки зору спрощення кінематики є схема з обертанням заготовки у горизонтальній площині навколо початкового

вертикального розташування інструменту. Кут можливого коливання інструменту у даному випадку становить $109,47^\circ$, оскільки представляє собою кут конуса, бічна поверхня якого проходить через декартові осі. В інших схемах даний кут повинен бути набагато більшим.

При більш глибокому аналізі такої схеми комбінованого механізму паралельної структури виявляється, що можна взагалі спростити кінематику органа, що переміщує інструмент, надаючи йому поворот лише навколо однієї з осей, яка перпендикулярна до початкового положення інструмента. В такому випадку кут його коливання може бути 90° , а кількість штанг зменшиться до чотирьох, до того ж по одній з лінійних координат переміщення робочого органа може бути меншою на величину його габариту. Саме таку схему верстата з комбінованими механізмами паралельної структури можна вважати найбільш ефективною з точки зору забезпечення максимального габариту робочого простору з повною заданою рухомістю вихідного органу.

Надання заготовці лінійних переміщень дозволяє збільшити робочий простір, що підвищує ефективність конструкції верстата при обробці довгих заготовок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Merlet J.-P. Parallel Robots. – Springer-Verlag New York Inc., 2006. – 394 p.
2. Кириченко А. М. Дослідження робочого простору верстатів-гексаподів / А. М. Кириченко, І. А. Валявський // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2008. – Вип. 3(46). – С. 10-15.
3. Кириченко А. М. Вплив діапазону кутів повороту шарнірних опор на об'єм робочого простору верстата-гексапода / А. М. Кириченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – Чернігів : ЧДТУ, 2011. – № 65. – С. 56-63.
4. Кириченко А. М. Моделювання жорсткості верстата-гексапода / А. М. Кириченко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград : КНТУ, 2008. – Вип. 21. – С.122-126.